

Jerome H. Saltzer : Traffic Control in a Multiplexed Computer System

Ph.D Thesis, MIT (M. I. T. Project MAC Technical Report MAC-TR-30) (June 1966)

本論文は、CorbatóらによってMITで開発されたタイムシェアリングシステム Multics におけるプロセスの構造とスーパーバイザの核としてプロセス間通信を司るトラフィック制御の論理的構造について論じたものであり、1960年代の半ばにおいて、IBM OS/360 とともに、今日のおペレーティングシステムの論理的構造の基礎を明らかにしたものである。本論文が発表された当時、高性能化してきた2.5世代コンピュータのために巨大化するスーパーバイザ (OS/360 が発表されるまでオペレーティングシステムという言葉は一般的には使われていなかった) ソフトウェア開発の多くが難渋しており危機的状況が叫ばれ始めていたことから、明晰な考察に基づくプロセス間通信の論理的構造を明らかにした本論文は大変注目されたのである。

Multics において活動する複数のプロセスは、それぞれ固有の2次元的構造 (segmentation) のアドレス空間を持ち、CPUの多重化 (processor multiplexing) によって作り出された仮想プロセッサ (pseudo-processor) によって活動する、と考える。

トラフィック制御を司るモジュールは、全システムで共有される核部分として、それぞれのアドレス空間内に存在して、アクセスされる。プロセスは、実行中 (running)、実行可 (ready)、閉塞中 (blocked/wait) の状態をとる。

プロセスが何らかの理由でそれ以上実行を続けられなくなると block() (最近では wait ということが多い) を実行して自ら blocked 状態となる。このプロセスの blocked 状態を解除する原因となる事象を発生する (他) プロセスは wakeup() (最近では signal ということが多い) を実行する。これにより状態は blocked から ready となり、プロセスは、資源：プロセッサの待ち行列に入れられる。実行中の他プロセスが block() を実行すると、そのプロセスに割り当てられていたプロセッサが返却される。このとき、スケジューラは、プロセッサ待ち行列の先頭から ready プロセスを取り出してプロセッサを与え (dispatch)、実行状態にする (実行させる、running)。なお、トラフィック制御が実行されるきっかけは、自プ

ロセスの手続き実行、ならびに他のプロセスの事象発生 (タイマーや入出力プロセスなどの完了も含まれる) による割り込み (という手続き呼び出し) がある。この割り込み処理の論理と手続きの実行主体であるプロセス、および metering (課金) についても論じている。

本論文での考察は、まず、プロセッサ数やメモリ容量の制限のない状態でのプロセス間通信に必要な機能を示し、次にプロセッサ数が限定されている場合のスケジュール/ディスパッチを考察し、最後にメモリが制限され、セグメントフォールトおよびページフォールトが生じる状態にも対応できるように機能を拡張している。さらに、トラフィック制御の全体構成を見直して、システムとしてのスケラビリティと資源構成のバランスについても考察している。

なお、Multics のトラフィック制御の原理は、1968年になって Dijkstra がクリティカルセクションの排他制御のために考案したセマフォアと p/v-operation として、さらなる抽象化がなされた。

Saltzer の論文は、あくまでトラフィック制御の論理がその成果であり、Project MAC の活動のすべてではない。Multics は、1970年代半ばの計算機システム技術の水準を超えた複雑さを持っていたので、その中に備えていた優れた機構のすべてが商業的に成功したわけではなかった。しかし、コンピュータは電気、ガス、水道といったユーティリティであるとした考え方や、ファイルシステムと情報保護機構は UNIX のデザインに受け継がれている。また、ダイナミックリンキングは、リンカーが行う外部参照の結合処理を実行時にまで持ち越すということで、きわめて柔軟性に富む卓越した方式であったが、いまだに完全な形での実装が商用化されていないのである。なお、Microsoft の DLL (Dynamic Linking Library) というのは Multics が目指した、未結合記号を含むセグメントを実行時に探して結合しロードするという、Dynamic Linking などではなく、正確には Dynamic Loading Library と呼ぶべきものであることに注意して欲しい。

(平成16年1月6日受付)

池田克夫 / 大阪工業大学
iked@astem.or.jp

